使用说明书

User’s Manual

450A 型

接触电流测试仪

CEPREI 中国赛宝（总部）实验室
工业和信息化部电子第五研究所质量检测中心

校验及校正声明

本实验室特别声明，本手册所列的仪器设备完全符合本实验室一般目录上所标称的规范和特性。本仪器在出厂前已经通过本实验室厂内校验，校验的程序和步骤是符合电子检验中心的规范和标准。

产品品质保证

本实验室保证所生产制造的新品仪器均经过严格的品质确认，同时保证在出厂一年内，如有发现产品的施工瑕疵或零件故障，本实验室负责免费给予修复。但是如果使用者有自行更改电路、功能、或进行修理仪器及零件或外箱损坏等情况，本实验室恕不提供免费保修服务。

本保证不含本仪器的附属设备等非我实验室所生产的附件。

在一年的保修期内，请将故障机组送回本实验室设备研发部维修处，本实验室会予以妥善修护。

如果本机组在非正常的使用下、或人为疏忽、或非人力可控制下发生故障，例如地震、水灾、暴动、或火灾等非人力可控制的因素，本实验室不予免费保修服务。

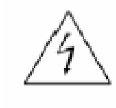
(本实验室遵循可持续发展战略，保留对本说明书的内容进行改进不予先通知的权力)

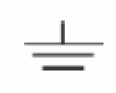
设备使用安全规定（必读）

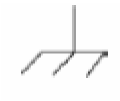
使用前应该注意的规定和事项!!!

安全标志 ：

高电压警告符号。

高压危险符号。

机体接地符号。

接地符号

1.1 安全须知

- 使用本电容器纹波试验台以前,请先了解本机所使用和相关的安全标志,以策安全.
- 在开启本机的输入电源开关前,请先选择正确的输入电压规格.

为防止意外伤害或死亡发生,在搬移和使用机器时,请务必先观察清楚,然后再进行操作.

1.2 维护和保养

使用者的维护

为了防止触电的发生,请不要掀开仪器的盖子。本仪器内部所有的零件绝对不需使用者维护。如果仪器有异常情况发生，请寻求我实验室给予维护。所附的线路和方块图只供参考之用。

定期维护

交流电源供应器、输入电源线各相关附件等每年至少要仔细检验和校验一次，以保护使用者的安全和仪器的精确性。

使用者的修改

使用者不得自行更改机器的线路或零件，如被更改，机器保证期则自动失效并且我实验室不负责任。使用未经本实验室认可的零件或附件也不给予保证。如发现送回检修的机器被更改，我实验室会将机器的电路或零件修复回原来设计的状态，并收取修护费用。

目 录

第一章　前　　言......5

1．1 仪器简介......5

1．2 仪器原理......6

1．3 原理方框图......8

第二章 相关标准介绍......9

2．1 接触电流试验......9

2．2 GB4943-2001(IEC60950:1999)标准介绍......9

2．3 GB8898-2001(IEC60065:1998)标准介绍......10

2．4 多种测试网络介绍......11

2．5 产生接触电流各种模式......12

2．6 定义......14

第三章 开机检查......15

3．1 拆封检查......15

3．2 输入电压和保险管的规格......15

3．3 开机检查......15

3．4 存储和运输环境......15

第四章 技术规范......16

4．1 输入特性......16

4．2 技术指标......16

4．3 仪器附件......17

第五章 面板说明......17

5．1 前面板示意图......17

5．2 前面板说明......17

5．3 后面板示意图......18

5．5 功能/参数显示说明......19

第六章 操作说明......21

6．1 注意事项......21

6．2 操作步骤......22

第七章 校准方法......24

7．1 主要元器件和电路板......24

7．2 测试网络校准......24

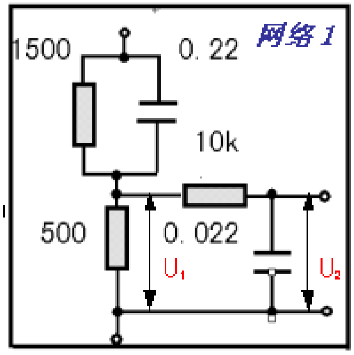
7.3 接触电流的电压（U1、U2）校准......31

7.4 供样电源电压校准（误差：± 3％ ± 3字）......31

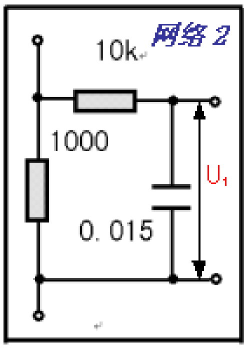
第一章　前　言

1．1 仪器简介

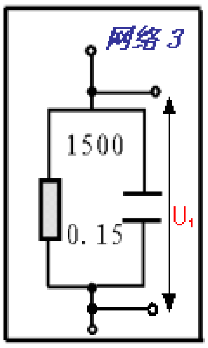
450A 型接触电流测试仪是测量试验样品的接触电流仪器（有些标准称为泄漏电流）。采用嵌入式工控 PC 和虚拟示波器，对接触电流波形进行采集、数据处理；PC 采用 Windows XP 操作系统，通过人机中文界面操作，全自动切换五种测试网络（模拟人体阻抗网络，见图 1），并显示其测试网络的试验电路和各种相应参数（接触电流的峰值电压 U_1、U_2 和接触电流 I_d）。工作状态一目了然，既可用按键操作，也能用鼠标设置。



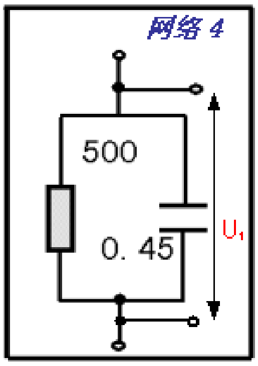
GB8898-2001（IEC60065）
GB4943-2001（IEC60950）
GB4706.1-2005（IEC60335.1）



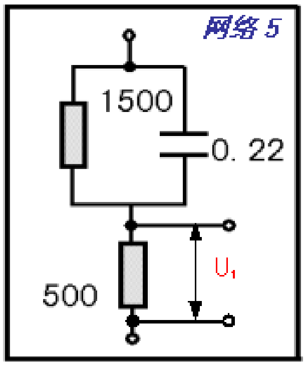
UL2601-1
IEC60601-1



UL544、UL484
IEC60598



UL544、UL484
IEC60598



IEC60990

注：电阻的单位：Ω，精度±0.1%；电容的单位：μF，精度±1

图 1　五种人体模拟阻抗网络

此仪器广泛用于 IT 行业、家电行业、医疗行业等，依据 IEC990-2001 接触电流和保护导体的测量方法的标准要求设计制做。该仪器适合试验标准有：IEC60065（GB8898-2001）、IEC60950（GB4943-2001）、IEC60598、IEC60335-1（GB4706.1-2005）、IEC60990(GB12113-2001)、IEC60601-1、UL2601-1、UL544、UL484、UL1563。非常适合实验室进行多种试验标准、多个测试网络的试验要求。

1．2 仪器原理

450A 型接触电流测试仪主要硬件由工控 PC、PC 显示器、虚拟示波器和单片机组成，其功能和作用如下：

- 工控 PC：上位机，数据接受和数据处理，以及人机交互界面控制；
- PC 显示器：显示测量波形和各种测量参数；
- 虚拟示波器：对测量波形进行 A/D 转换，带宽是 20MHz，采用 flashdso 虚拟示波器；
- 单片机：下位机，采用了 ATMEL 公司的 AVR 芯片，主要负责按键操作，控制网路的切换，输出电压的测量，控制 PC 的开关机。

450A 型接触电流测试仪的 PC 软件设计是采用 Microsoft 的 vb6.0 软件编写的，按图 1 五个测试网络（人体模拟阻抗网络）选择测试网络进行测量，能自动测量出每个测试网络的接触电流的峰值电压 U1、U2（测试网络 1）和接触电流 I_d)。

采用精密的可调变压器、隔离变压器产生试验样品的工作电源（50Hz / 60Hz）。

1．2．1 测量原理

由于接触电流信号波形是非正弦波，谐波频率超过 100Hz，见图 2 所示。对于是非正弦的波形，测量其峰值电流相对人体阻抗更准确（见 GB4943-2001 标准 P84 页说明），该仪器采用波形测量法测量接触电流波形的电压峰值，再计算出接触电流（I_d)。

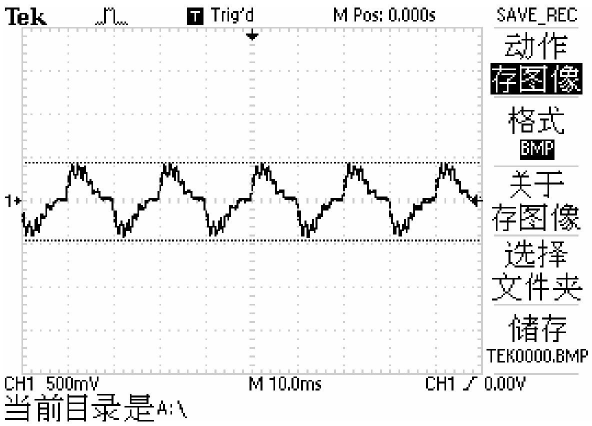


图 2 接触电流信号的非正弦波图形

接触电流（I_d）是指在正常工作条件下或故障条件下，当人体接触设备的一个或多个可触及零部件时通过人体的电流（各种模式详见 2.5 章节）。按图 1 的五个测量网络进行接触电流的测量，通过每个测试网络的电路分析，采用测量接

触电流波形的最大电压峰值来计算出接触电流（I_d）的峰值电流，计算公式见表1：

表 1 计算接触电流（I_d）的峰值电流公式表*（电压取峰值）*

测试网络：	*网络 1*	*网络 2*	*网络 3*	*网络 4*	*网络 5*
接触电流（I_d）：（峰值）	U_2 / 500	U_1 / 1000	U_1 / 1500	U_1 / 500	U_1 / 500

如果测量的接触电流波形是对称，那可以测量的接触电流波形电压是峰-峰值，则表 1 的计算公式可变为表 2 计算公式：

表 2 计算接触电流（I_d）的峰值电流公式表*（电压取峰-峰值）*

测试网络：	*网络 1*	*网络 2*	*网络 3*	*网络 4*	*网络 5*
接触电流（I_d）：（峰值）	U_2 / 1000	U_1 / 2000	U_1 / 3000	U_1 / 1000	U_1 / 1000

450A 型接触电流测试仪是采用表 1 的计算公式来测量接触电流（I_d）的峰值电流。

1．2．2 测量网络频率特性

图 1 中的测量***网络 1*** 产生一个可以测量的电压响应，随着接触电流频率的增高，U_1 和 U_2 的值差别更大，其比值为频率因数，见图 3 曲线。

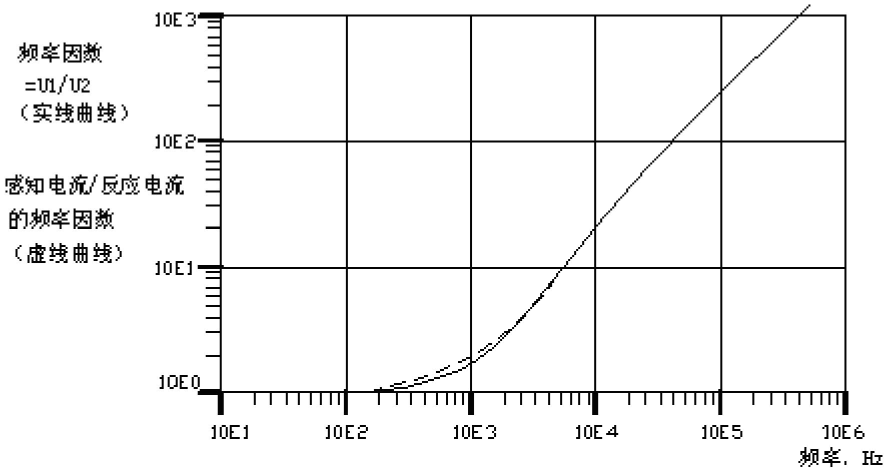


图 3 接触电流测试仪频率因数

校准测试网络的方法是：采用一台标准信号源（信号频率：20Hz～1MHz）按图 1 测量***网络 1***，在 A、B 两端输入正弦波形信号，按表 1（频率特性参数表）要求设置正弦波信号的频率，然后用数字电压表（测量频率：10Hz～1MHz）测量对应的 U_2 两端电压值，看看是否满足表 3 中的对应数值，从而

达到校准图 1 测量*网络 1* 的频率特性的目的，具体方法和其它测试网络的频率特性参数表见 7.2 章节说明。

表 3　*网络 1* 频率特性参数表

频率(Hz)	输入阻抗 U/I	转换阻抗 U_2/I
20	1998	500
50	1990	499
60	1986	498
100	1961	495
200	1857	480
500	1433	405
1,000	973	284
2,000	661	162.9
5,000	512	68.3
10,000	485	34.4
20,000	479	17.21
50,000	477	6.89
100,000	476	3.45
200,000	476	1.722
500,000	476	0.689
1000,000	476	0.345

注：表 3 是 IEC60990-1999 标准附加 L 中的表 2；U、I、U_2参量见图 1 标明。

1．3 原理方框图

1．3．1 测量示意图，见图 4。

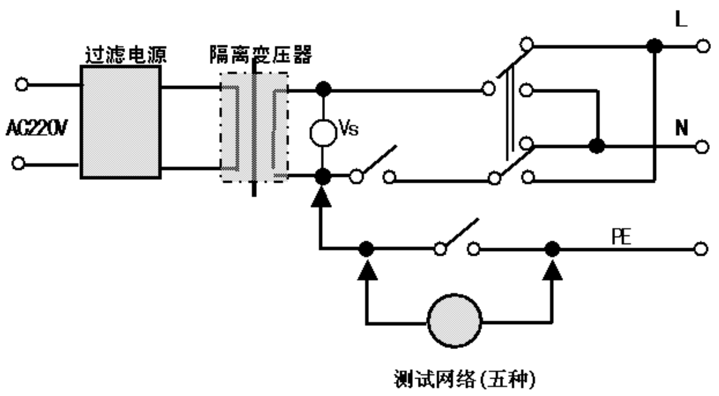


图 4 450A 型测量示意图

1．3．2 仪器原理方框图，见图 5。

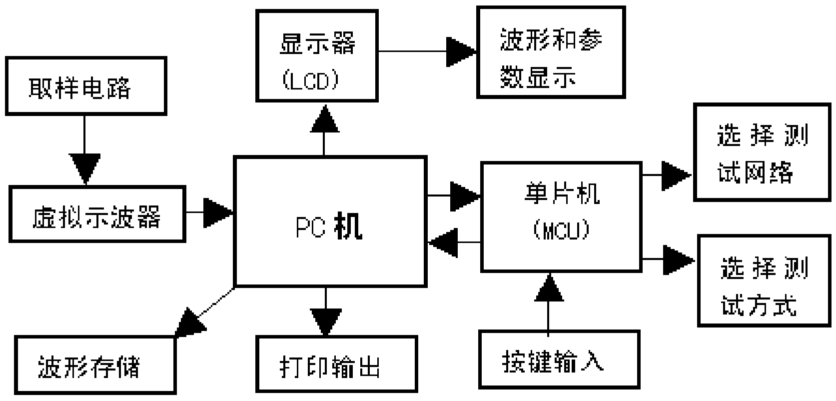


图 5 450A 型原理方框图

第二章 相关标准介绍

2．1 接触电流试验

在按照 IEC 或国家标准对样品进行的接触电流项目中，一般要求试验样品的设计和结构应保证接触电流不可能产生电击危险。产生的接触电流应满足标准(如《GB4943-2001》、《GB8898-2001》、《GB12113-2001》等)规定的要求，见下面这两标准(《GB4943-2001》、《GB8898-2001》、)中有关接触电流试验内容和要求。

2．2 GB4943-2001(IEC60950:1999)标准介绍

在 5.1 条款中描述：

2．2．1 试验条件:

（1） 测试网络：见图 1（人体模拟阻抗网络）;

（2） 测试参数：U_2 电压，通过公式（1）或（2）计算接触电流；

（3） 试验应倒换样品电源极性（P1）：正向或倒向，见图 6;

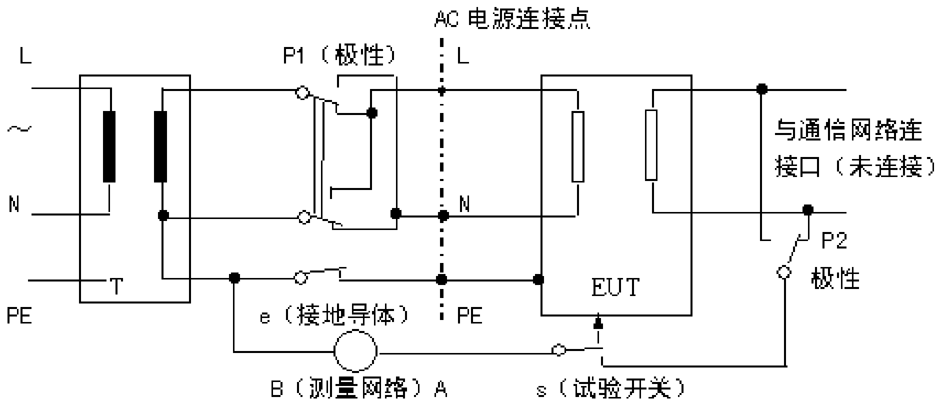


图 6 单相设备接触电流试验电路

（4） 试验应有接地导体开关 e：接通或断开，见图 6；

（5） 测试程序：

- 对有保护接地连接或功能接地连接的设备，测试网络（图 1）的 A 端应通过测量开关“s”连接到 EUT（受试设备）的试验样品接地端子上，接电导体开关“e”打开，见图 6；
- 试验还应在所有的设备上进行，测试网络（图 1）的 A 端应通过测量开关“s”依次连接到每个不接地的或非导电的可触及零部件上和每个不接地的可触及电路上，接电导体开关“e”关闭，见图 6。

注：对可触及的非导电零部件，应在该零部件上贴面积为 10 cm × 20 cm的金属箔进行试验。

2．2．2 试验要求：

测量的接触电流的值不应超过表 4 所规定的相关限值，见表 4：

表 4 最大接触电流

设备类型	测量网络的 A 端连接到	最大接触电流	
		mA (有效值)	mA (峰值)
所有设备	未连接到保护接地的可触及的零部件和电路	0.25	0.35
手持式设备	设备电源保护接地端子（如果有）	0.75	1.06
移动式设备(手持式设备除外，但包括可携带式的设备)		3.5	4.95
驻立式 A 型可插式设备		3.5	4.95

注：如果测量接触电流的峰值，可通过有效值乘以 1.414 得到最大值。450A 型接触电流测试仪测量的接触电流是峰值。

2．3 GB8898-2001(IEC60065:1998)标准介绍

2．2．1 正常工作条件下的触电危险（在试验标准 9.1.1 条款中描述）

为了确定某一零部件或某一端子的某个接触件是否危险带电，应在任意两个零部件或接触件之间，以及任意一个零部件或接触件与试验时所用电源的任意一极之间进行下列测量。

如果符合下列要求，则零部件或端子的接触件是非危险带电的：

（1）U_1 开路电压不超过交流 35V（峰值）或直流 60V；或者，如果测试值不满足此项，则

（2）按图 1 的测试***网络 1*** 进行接触电流的测量。

以电压 U_1 和电压 U_2 表示的接触电流不应超过下列规定值：

——对交流：U_1=35V（峰值），U_2=0.35V（峰值）；

——对直流：U_1=1.0V（U1=U2）；

注意！

- 交流限值 U_2=0.35V（峰值）和直流限值 U_1=1.0V 通过表 1 中的公式计算，相当于交流限值 0.7mA（峰值）和直流限值 2.0mA;
- 频率超过 100kHz 时，交流限值 U_1=35V（峰值）相当于交流限值 70mA（峰值）。

2．2．2 故障条件下的触电危险（在试验标准 11.1 条款中描述）

如果满足下列要求，则零部件或端子的接触件是非危险带电的：

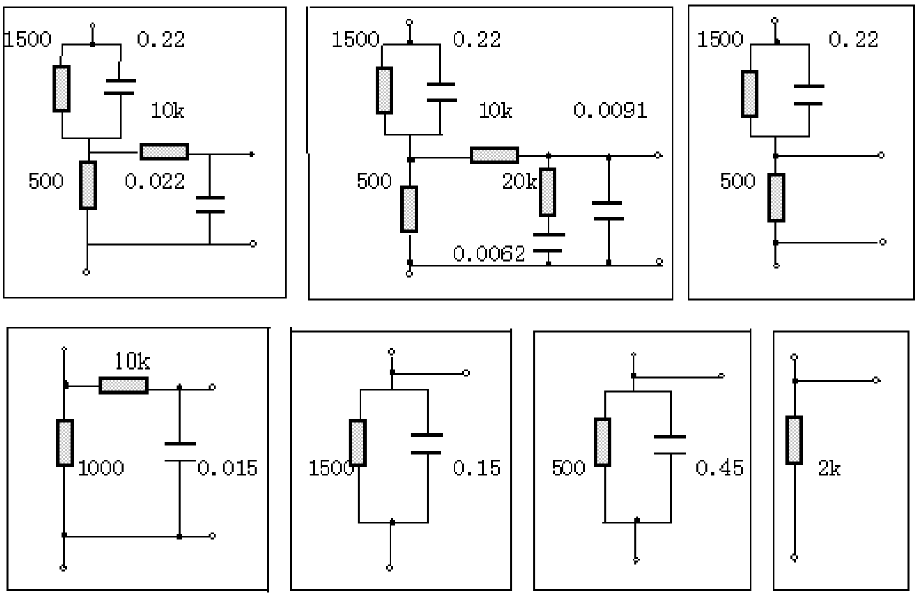
（1）U_1 开路电压：交流 70V（峰值）或直流 120V；或者，如果测试不满足此项，则

（2）按图 1 的测试***网络 1*** 进行接触电流的测量，交流：U_1=70V（峰值），U_2=1.4V（峰值），直流：U_1=4.0V（U_1=U_2）；

2．4 多种测试网络介绍

GB8898-2001 标准和 GB4943-2001 标准在测量接触电流的试验中规定采用图 1 测试***网络 1***（人体模拟阻抗网络），这个测量网络 U1/U2 的频率因数（见图 3 中的实线曲线）与感知电流/反应电流的频率因数基本相符（见图 3 中的虚线曲线）。电流对人体的效应最为重要的有四种：感知、反应、摆脱、电灼伤，这四种人体效应中任何一种都具有唯一的阈值，且其中的某些阈值随频率变化的差异是很大的。在这四种效应中，感知、反应和摆脱与接触电流峰值有关，并且随频率变化而不同；然而，电灼伤与接触电流有效值有关，而与频率无关。

这里再介绍一些其它人体模拟阻抗网络，即测试网络。由于不同的国家，不同的产品，不同的标准，对人体模拟阻抗网络的定义不同。美国 LABSMATE 通过对全世界 230 多种标准的研究，归纳出以下七种人体模拟阻抗网络供选择，以适应各种各样标准的测试，见图 7。450A 型接触电流测试仪从中选择了五个测试网络，见图 1，这五个测试网络（人体模拟阻抗网络）的频率特性参数要求详见 7.2 章节的列表。



注：电阻的单位：Ω，精度±0.1%；电容的单位：μF，精度±1%。

图 7 多种人体模拟阻抗网络

2．5 产生接触电流各种模式

2．5．1 对地产生接触电流

对地产生接触电流主要是针对 I 类设备，模拟当接地保护导体到接地断开时，经过人体流到地（GND）产生的电流，见图 8。

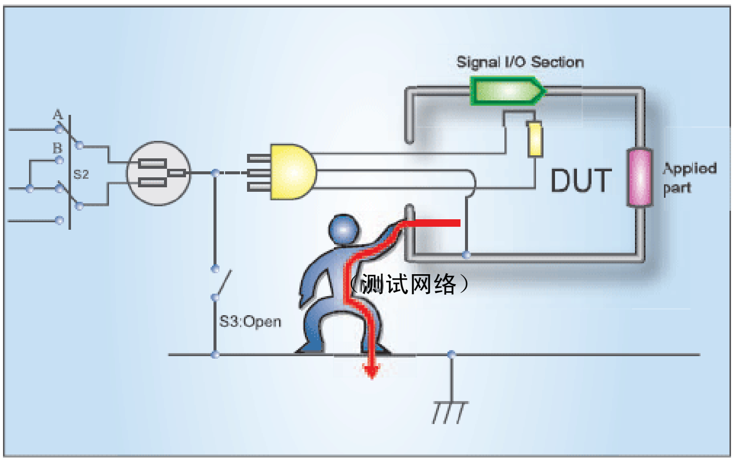


图 8 对地产生接触电流示意图

2．5．2 表面对地产生接触电流

（1）外壳接触电流

该电流主要针对 I 类设备的 II 类设备结构，或者 II 类设备的外壳，模拟人体去接触被测物（DUT）非金属或是金属但与地（GND）非相连接部件产生的接触电流，见图 9。

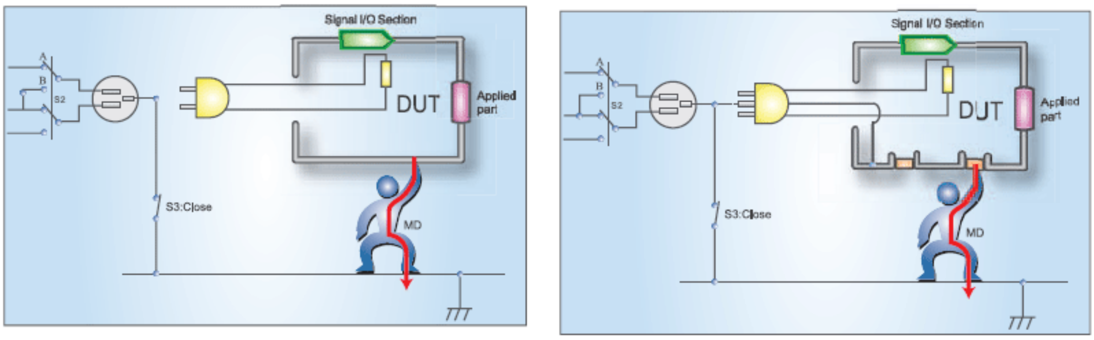


图 9 外壳接触电流示意图

（2）患者接触电流

针对医疗设备的接触电流，从应用部件经患者流到地（GND）的接触电流，或被测物(DUT)经外部输入/输出信号端测量从 F 型应用部件经患者流到地(GND)的接触电流，见图 10。

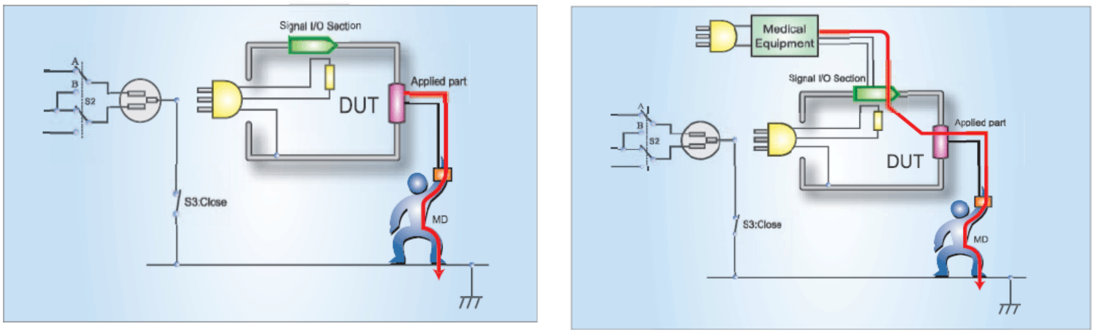
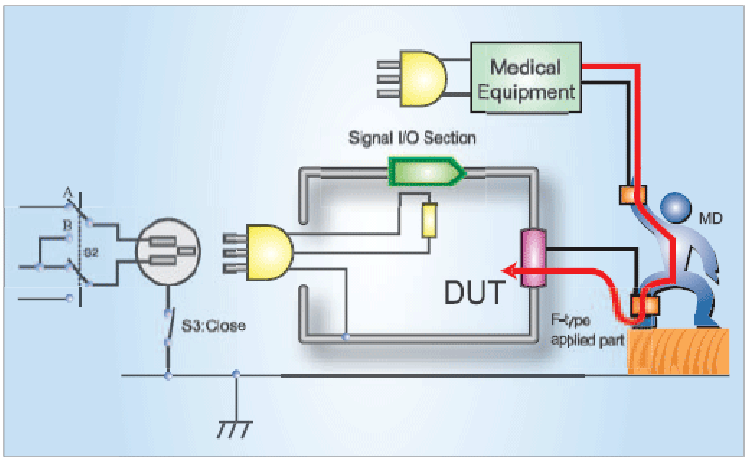


图 10 患者接触电流示意图

2．5．2 表面间产生接触电流

（1）患者辅助接触电流

正常使用时，流入处于应用部件之间的患者的电流，此电流预期不产生生理效应，见图 11。



F型应用部件：应用部件需与设备的所有其他部位相隔离，当电压等於 1.1 倍的最高额定电源电压施加於应用部件与地之间，在这样的条件下可容许患者漏电流在单一故障条件下不超过标准的容许值。

图 11 患者辅助接触电流示意图

（2）外壳任意两点间接触电流

该电流是被测物（DUT）的任意两点之间与地（GND）无关，流经人体的接触电流，见图 12。

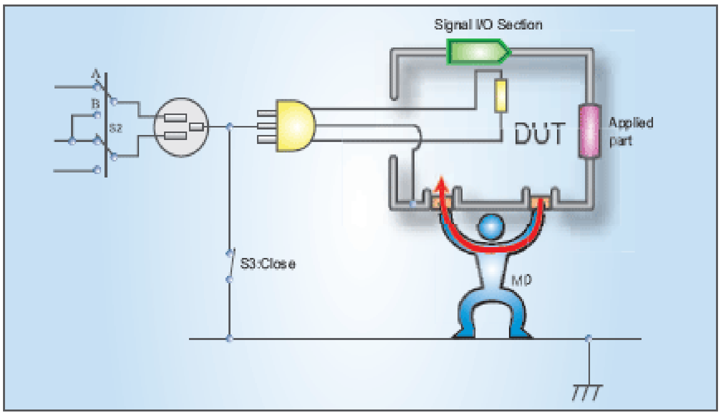


图 12 外壳任意两点间接触电流示意图

2．6 定义

2．6．1 基本绝缘

对防电击提供基本保护的绝缘。

2．6．2 附加绝缘

除基本绝缘以外施加的独立的绝缘，用以减少在基本绝缘一旦失效时仍能防止电击。

2．6．3 双重绝缘

由基本绝缘加上附加绝缘构成的绝缘。

2．6．4 加强绝缘

一种单一的绝缘结构，在标准规定的条件下，其所提供的防电击的保护等级相当于双重绝缘。

2．6．5 Ⅰ类设备

防触电击不仅依靠基本绝缘，而且采用附加安全措施的设计，在基本绝缘一旦失效时，有措施使可触及的导体零部件与设施中的固定线路中保护（接地）导体相连接，从而使可触及的导体零部件不会危险带电。

2．6．6 Ⅱ类设备

防电击保护不仅依靠基本绝缘，而且还采取附加安全保护措施的设备（如采用双重绝缘或加强绝缘的设备），这类设备既不依靠保护接地，也不依靠安装条件的保护措施。

2．6．7 Ⅲ类设备

防电击保护是依靠安全特低电压（SELV）电路供电来实现的，且不会产生危险电压的设备。

2．6．8 保护接地端子

与出于安全原因必须接地的零部件相连接的端子。

2．6．9 接触电流

是指在正常工作条件下或故障条件下，当人体接触设备的一个或多个可触及零部件时通过人体的电流。

第三章 开机检查

3．1 拆封检查

450A 型接触电流测试仪是包装在一个纸箱内，拆封检查仪器外观和面板有无完好，并核对箱内的仪器附件数量是否正确，仪器附件清单见 4.3 节。

3．2 输入电压和保险管的规格

450A 型接触电流测试仪使用 AC 220V/50Hz 单相电源，保险管容量为 5A。注意：更换保险管前，必须先去掉输入电源线，新更换的保险管须符合要求。

3．3 开机检查

3．3．1 在接通仪器电源之前，需先确认电源的地线是否已接好。本仪器采用三芯电源线，当电源线接入具有地线的插座时，即已完成仪器机壳接地。

3．3．2 接通电源开关后，按一下“运行/退出”键，操作面板上的指示灯灭，系统启动（可通过液晶屏幕察看），本系统是采用了 WINDOWS XP 操作系统，所以整个启动过程大约要 30 秒钟，仪器的显示器（LCD）进入显示状态。如果电源接通后无显示，请先关闭电源开关并拔掉电源插头，检查电源线是否接触良好及位于后面板的保险管是否完好。确认检查完好后再次开机启动观察。

3．4 存储和运输环境

仪器可在下列环境条件进行存储和运输：

温度：-20℃～60℃；

湿度：小于 90％ RH。

注意：必须避免环境温度的急剧变化，温度的急剧变化可能会引起水汽凝结于仪器内部。

第四章 技术规范

4．1 输入特性

输入电压	AC 220V±10%
输入频率	50Hz/60Hz
工作环境	温度：10℃～30℃，湿度：小于75% RH
电源保险管	5A
外形尺寸	640 mm（W）×460 mm（D）×300 mm（H）
重量	约 50 kg

4．2 技术指标

测试网络:	五种(见图 1)
适合标准:	***网络 1***: GB4943-2001(eqv IEC60950) GB8898-2001(eqv IEC60065) GB4706.1-2005(eqv IEC60335.1) ***网络 2***: UL2601-1、IEC60601-1 ***网络 3***: UL544、UL484、IEC60598 ***网络 4***: UL1563 ***网络 5***: IEC60990
测试网络频率特性:	± 5% （注：频率特性参数和校准方法见 7.2 节。）
测量方式:	自动测量接触电流的峰值电压（U1、U2）和接触电流 Id
测量准确度:	数字显示, ± 5% ± 3 字（波形峰值测量） （注：测量范围是 $0.25V_{P-P}$ ~ $40V_{P-P}$，不带衰减探头线）
供样电源电压范围:	0～300V
供样电源电压精度:	±（3%+3 个字）
供样电源容量:	1000VA
功能:	**具有测量网络输出端口（BNC）**
	接触电流测量选择 U_1 或 U_2 *（网络 1）*
	供样电源换相选择 正相或倒相
	零线选择 通或断
	E-开关 通或断
	具有波形显示输入端口（BNC）
	LCD 中文菜单显示,按键操作或可鼠标操作(USB)
	具有波形存储功能
	具有打印机接口（USB）

4．3 仪器附件

名　称	数　量
测试探头线	1 根
测试线	1 根
鼠标	1 个
电源线	1 根
说明书	1 本
保修卡	1 份

第五章 面板说明

5．1 前面板示意图

仪器前面板见图 13。

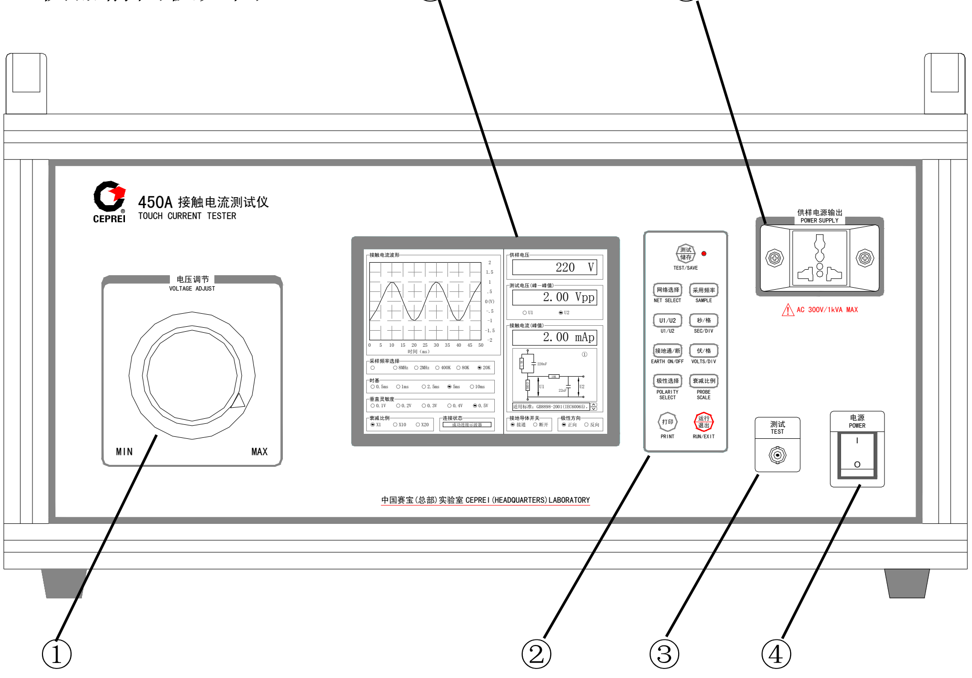


图 13 前面板示意图

5．2 前面板说明

①：电压调节旋钮（VOLTAGE ADJUST）

调节供样电源电压大小的旋钮，其数值在 LCD 显示器（⑤）显示。

②：功能键（FUNCTION）

详见 5.5 章节的功能键说明。

③：测量端口（TEST）

BNC 输入端口，即为测量网络的 A 端。通过测量探头线连接试验样品的

测试点，这些测试点可以是试验样品的保护接地端，或是未连接到保护接地的可触及的零部件和电路。

④：电源开关（POWER）

带指示灯的仪器电源通断开关。

⑤：功能/参数显示（FUNCTION / PARAMETER）

显示接触电流波形、测试网络、接触电流的电压峰值（U1、U2）、接触电流峰值（Id）、供样电源电压。

⑥：供样电源输出插座（POWER SUPPLY）

采用万能插座输出供样电源。在试验时，将试验样品的电源线插头插入该插座中，为试验样品提供试验所需的隔离电源。

！注意：电源最大输出容量为 300V，1000W。

5．3 后面板示意图

仪器后面见图 14。

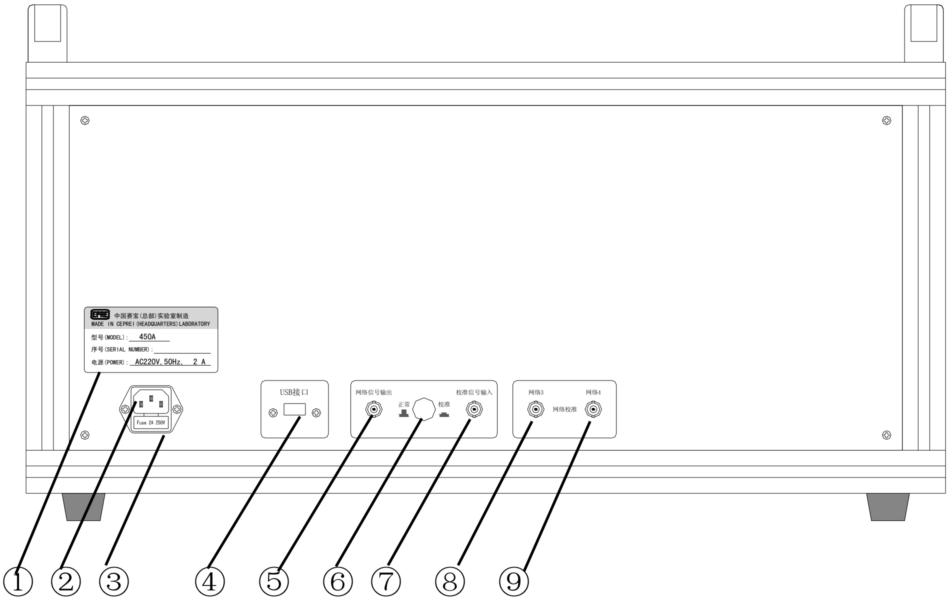


图 14 后面板示意图

5．4 后面板说明

①：仪器标识

标明仪器的制造商、型号、机号以及工作电源要求。

②：电源输入插口

AC 220V，50Hz/60Hz。

③：保险管外盖

保险管放置处，保险管规格 250V，5A。

④：USB 接口，插入鼠标操作，或采用 U 盘存储波形。

⑤：网络信号输出（BNC），即测试网络的 U1 或 U2 端口。

⑥：设置“正常/外接”按键（带锁）。当按键设置“正常”时，仪器的显示器可显示测试网络的测量波形；当按键设置“外接”时，仪器的显示器与测试网络断开，可作一台存储示波器使用，输入端为后面板⑦。

⑦：仪器显示器的信号输入端（BNC），只有按键⑥设置“外接”时，此端口方可使用。

⑧：校准测试*网络 3* 的阻抗特性端口。（注意：在校准此项目时，仪器必须断电）

⑨：校准测试*网络 4* 的阻抗特性端口。（注意：在校准此项目时，仪器必须断电）

5．5 功能/参数显示说明

接通 450A 型接触电流测试仪的电源，仪器启动 Windows XP 操作系统大约需 30 秒，仪器面板上的显示器(LCD)进入图 15：

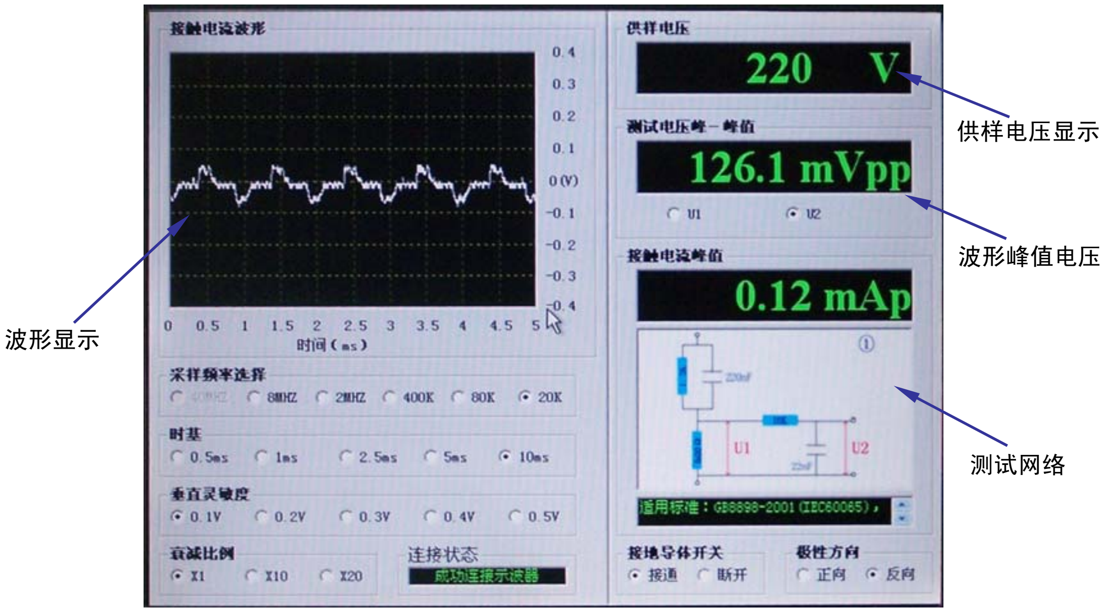


图 15 显示器(LCD)显示界面图

在显示图 15 中的参数和功能选择是通过图 16 的按键设置的，见图 16 所示。

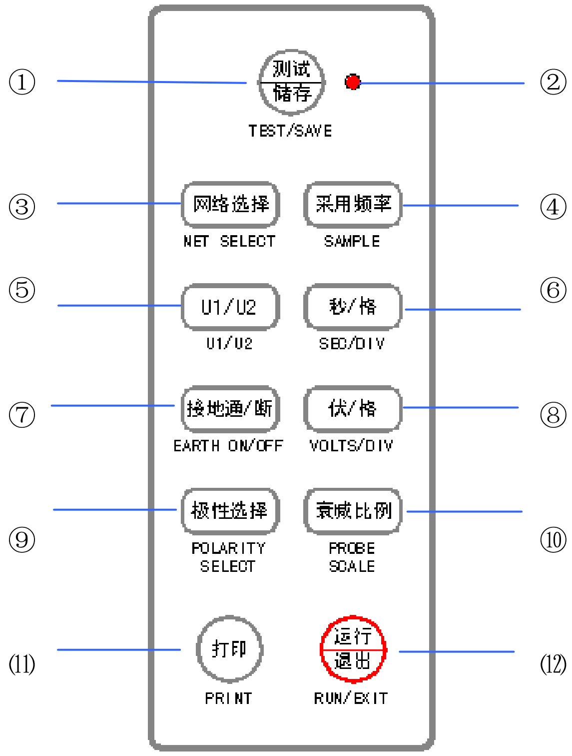


图 16 功能键盘示意图

在图 16 中的功能键说明：

①：“测试”和“存储”波形的功能切换键。

②：电源指示灯。

③：“网络选择”键，按此键可循环切换五种测试网络，并在显示器（LCD）上显示电路和其适用的试验标准，五种测试网络见图 1。

④：“采样频率”键，根据显示波形的频率而选择，显示的波形频率高，则选择采样频率也高，直到波形显示最佳状态。

⑤：测量测量网络的输出电压“U1/U2“切换键，只有测量*网络 1* 有 U1 或 U2 测量，其余测量网络只有 U1 测量。

⑥：“秒/格”按键是波形显示的扫描时基选择键，根据选择采样频率的不同而有不同的设置范围，选择设置到波形显示最佳状态。其设置范围：

- 20kHz 采样率，时基：0.5ms、1ms、2.5ms、5ms、10ms；
- 80kHz 采样率，时基：0.125ms、0.25ms、0.625ms、1.25ms、2.5ms；
- 400kHz 采样率，时基：25us、50us、125us、250us、500us；
- 2MHz 采样率，时基：5us、10us、25us、50us、100us；
- 8MHz 采样率，时基：1.25us、2.5us、6.25us、12.5us、25us。

⑦：“接地通/断”按键是选择接通地线（GND）测试试验样品，或断开地线

测试试验样品。

⑧：“伏/格”按键是波形显示的垂直电压选择键。电压选择：0.1 伏/格、0.2 伏/格、0.3 伏/格、0.4 伏/格、0.5 伏/格。

⑨：“极性选择”按键是选择测试试验样品的电源相位极性，选择：“正相”或“倒相”。

⑩：“衰减选择”按键是选择输入信号衰减量，选择输入衰减：×1、×10、×20。

⑾：需要进行波形打印时，应在 USB 接口上插好 U 盘，按“打印”键，再将已存在 U 盘的波形数据输入到其它电脑进行打印。

⑿：“运行/退出”键是当仪器开机时按此键，仪器启动系统（Windows XP），进入测试状态；或当仪器关机时，按此键仪器可以安全退出系统（Windows XP）。

如果采用鼠标操作，可以直接点击选择所需的参数。

第六章 操作说明

6．1 注意事项

使用须知：450A 型接触电流测试仪设计时已充分考虑到安全问题。但如仪器使用不当，可能影响仪器的测量精度，因此，在使用前一定要注意以下几点：

注 意！

1. 仪器接的额定电源(AC220V)必须接地良好，如接地不好，会影响仪器测量精度。
2. 打开电源以前，一定要把“电压调节”度盘逆时针方向旋转到“MIN”位置。
3. 在仪器关机时，一定要先按“启动/退出”键，使得仪器安全退出操作系统（Windows XP）。
4. 供样电源的最大容量为 1000VA/300V，因此试验样品的功率不能大于供样电源的最大容量，否则会损坏仪器。
5. 仪器的测试探棒是金属的针尖，在使用过程中应小心注意，尽量不要触碰测试探头，以免划伤人体或损坏探头。
6. 仪器应放置在干燥、阴凉处，尽量避免放置在潮湿、高温、强阳光处。

7. 当在测量的时候，如果看到 LCD 显示器出现乱码或死机，应按【电源】开关切断主电源，过几秒后在重新给仪器上电。

6．2 操作步骤

6．2．1 仪器接入**接地良好**的额定电源(220V、50Hz),确认“电压调节”旋钮度盘处于“MIN”位后，然后打开 450A 仪器电源开关。

6．2．2 开机约一秒钟后，操作面板上的指示灯②亮；在显示屏（LCD）上会显示“NO SINGAL”，然后按一下“运行/退出”键，操作面板上的指示灯灭，系统启动（可通过液晶屏幕察看），本系统是采用了 WINDOWS XP 操作系统，所以整个启动过程大约要 30 秒钟；系统启动完后，直接进入仪器操作界面。

6．2．3 按图 17 测试连接示意图连接试验样品。(**注意：一定要确认试验样品的功率必须小于 1000VA，否则仪器容易损坏，并且测量数据不准！**)

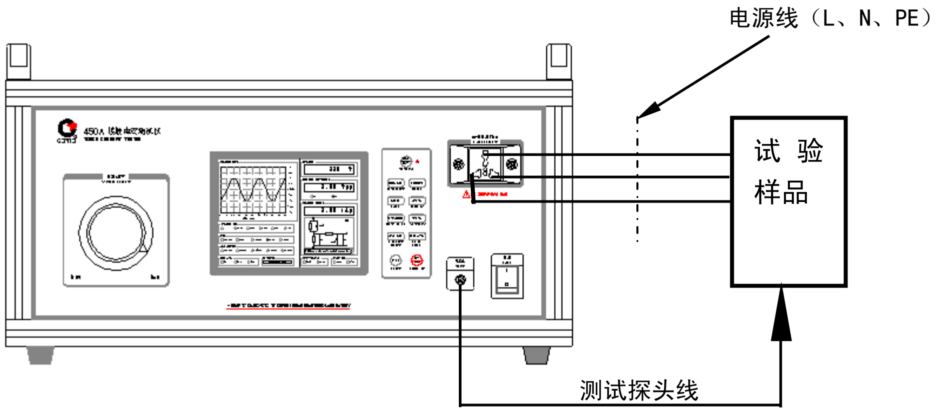


图 17 测试连接示意图

6．2．4 调节“电压调节”旋钮，调到试验所需的供样电源电压；如果试验样品有电源开关，则应打开试验样品的电源。

6．2．5 根据测试要求选择测试网络、测试项目和接触电流的测试点（见表 5 所示），操作方法和说明见***功能/参数显示说明***（5．5 章节）。

表 5 选择测试项目和接触电流的测试点

接触电流测试点 / 选择测试项目		未连接到保护接地的可触及的零部件和电路		电源保护接地端子（样品机壳如果有）
		导电的零部件	非导电的零部件	
测试	U_1	√	√	√
	U_2	√	√	√
电源极性	正相	√	√	√
	反相	√	√	√
接地导体开关	接通	√	√	
	断开			√

注：1）由于试验样品的设计结构和电路不同，因此在测量其接触电流中，试验标准（如 GB4943-2001 和 GB8898-2001 等）有不同规定，见 2.2 和 2.3 章节；

2）对可触及的非导电零部件，应在该零部件上贴面积为 10 cm×20 cm的金属箔，再用测试探头线连接金属箔进行试验；

3）标“√”为已选项目。

6．2．6 然后采用测试探棒去接触试验样品的测量点，在液晶屏幕(LCD)上会显示所测的波形，根据显示的波形，选择合适的采样频率、扫描时间（时基）和电压灵敏度，直波形显示最佳状态。

6．2．7 在液晶屏幕(LCD)上会自动显示接触电流波形的峰值电压（U1 或 U2）和接触电流（Id，峰值）。

6．2．8 在读取接触电流（Id，峰值）后，判断试验样品是否合格，应按测量的接触电流值不应超过表 4 所规定的相关限值和 2.3 章节要求规定以及其它试验标准［IEC60598、IEC60335-1（GB4706.1-2005）、IEC60990(GB12113-2001)、IEC60601-1、UL2601-1、UL544、UL484、UL1563］要求的规定。

（注意：测量的接触电流单位是**峰值**，试验标准的限值一般是**有效值，必须换算比较！**）

6．2．9 在测量时，可通过按“测试/存储”键停止测试，并在液晶屏幕(LCD)上存储了测试波形，再通过“打印”按键可以把波形存储到 U 盘中（U 盘从仪器背后的 USB 插孔插入）;

6．2．10 测试完毕后，如果想关闭 450A 仪器，请不要直接关仪器电源，应先按操作面板上的“运行/退出”按键。为了避免误按此键而使仪器退出系统，故在第一次按此键时会有一个提示窗口进行确认，如在 5 秒钟内再按一次，系统会自动退出，同时操作面板上的指示灯会闪烁，一分钟后指示灯停止闪烁，变成长亮。如果短时间内不会再用仪器，可以通过电源开关把电源切断，如果在短

时间内还想使用仪器，可以先不切断电源，想重新启动系统可通过“运行/退出”键启动系统。

第七章 校准方法

7．1 主要元器件和电路板

450A 型接触电流测试仪的主要元器件和电路板清单如下，见表 6：

表 6 主要元器件和电路板清单

序号	名　称	规格	数 量
1	工控 PC		1（台）
2	PC 显示器		1（台）
3	虚拟示波器	带宽 20MHz	1（台）
4	单片机		1（块）
5	隔离变压器	1000VA	1（个）
6	电源变压器	30VA	1（个）
7	控制电路板		1（块）
8	按键板		1（块）
9	测试探头		1（个）
10	万能插座		1（个）
11	鼠标		1（个）

7．2 测试网络校准

450A 型接触电流测试仪含有五个测试网络电路，见图 1 所示，下面讲述一下校准这五个测试网络的方法和步骤：

7．2．1 校准测试*网络 1*

450A 型接触电流测试仪的测试*网络 1* 电路见图 1 所示，校准其频率特性是按输入阻抗（U/I）和转换阻抗（U_2/I）两组参数校准，两组参数要求见表 3，误差要求都为± 5%。

步骤一　测试*网络 1* 的输入阻抗（U/I）特性校准：

对输入阻抗（U/I）特性校准可直接采用安捷伦（Aglient）4284A 型精密 LCR 表（或等同性能要求的阻抗分析仪）进行测量阻抗；

校准测试的连接如图 18 所示：450A 前面板的“测试”端口连接到精密 LCR

表的输入端进行测试。

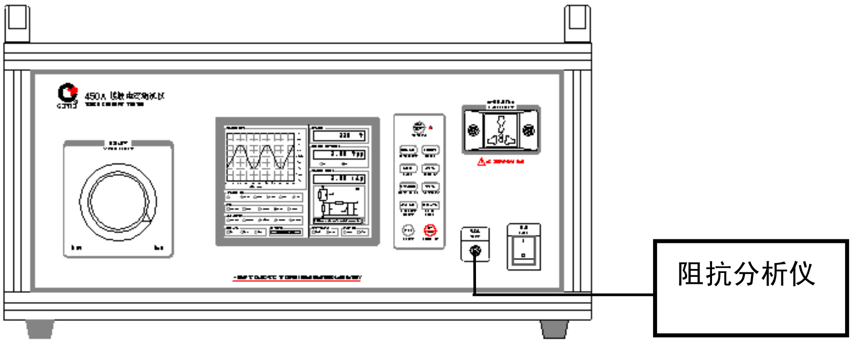


图 18 输入阻抗（U/I）校准示意图

按表 3 频率特性参数和 450A *网络 1* 的输入阻抗（U/I）精度（± 5%）列出的测试校准表，见表 7。如果校准测试数据满足表 8 的限值范围，那么校准的这个测试*网络 1* 的输入阻抗（U/I）是符合要求的。

表 7 输入阻抗（U/I）特性校准测试数据表

频率 (Hz)	标称值（U/I）（Ω）	测量值（U/I）（Ω）		
		下限值（— 5%）	测量值	上限值（＋ 5%）
20	1998	1898.1		2097.9
50	1990	1890.5		2089.5
60	1986	1886.7		2085.3
100	1961	1862.9		2059.0
200	1857	1764.1		1949.8
500	1433	1361.3		1504.6
1,000	973	924.3		1021.6
2,000	661	627.9		694.0
5,000	512	486.4		537.6
10,000	485	460.7		509.2
20,000	479	455.0		502.9
50,000	477	453.1		500.8
100,000	476	452.2		499.8
200,000	476	452.2		499.8
500,000	476	452.2		499.8
1000,000	476	452.2		499.8

注： U、U_2 参量见测试网络图 1 标明。

步骤二 测试*网络 1* 的转换阻抗（U_2/I）特性校准：

对转换阻抗（U_2/I）校准可以用电压参数表示，也就是说用输入电压（U）和输出电压（U_2）来表示测试网络的转换阻抗（U_2/I）特性。

校准测试需要一台数字万用表，一台信号源。测量校准仪器的技术性能要求如下：

仪器名称	测试性能要求	建议校准使用的仪器
数字万用表	● 交流电压测量； ● 频率带宽：10Hz～1MHz； ● 测量范围：1mV～5V； ● 精度:优于± 2%。	安捷伦（Aglient）3458A 型 8 1/2 数字万用表；
信号源	● 输出波形：正弦波； ● 频率范围：20Hz～1MHz； ● 输出电压：大于 $5V_{RMS}$。	Fluke5700A 型多功能校准源； Fluke5790A 型多功能校准源；

校准测试的连接如图 19 所示：信号源输出端接 450A 面板的“测试”端口；450A 面板的“网络输出”端口接数字万用表的测量输入端。(连接线均为 BNC 线)

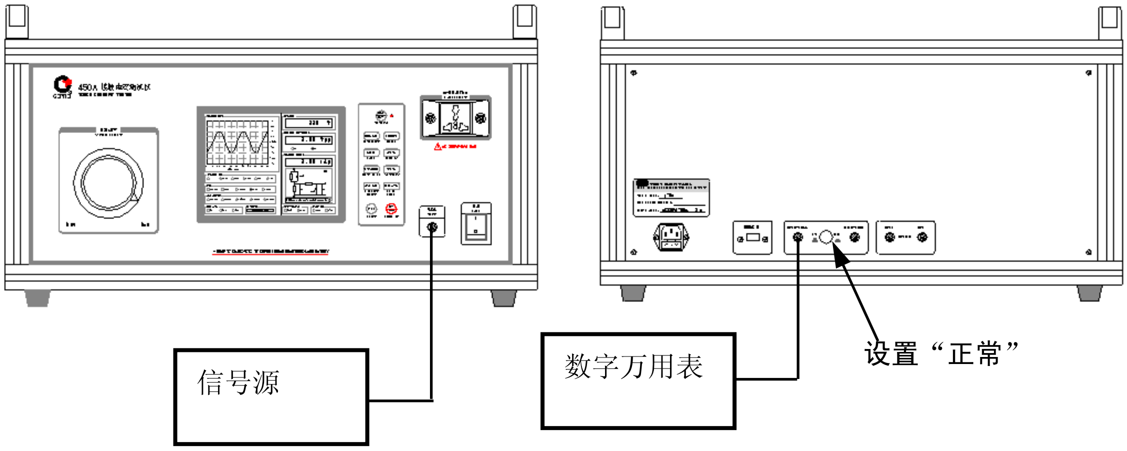


图 19 转换阻抗（U_2/I）校准示意图

由于在测试校准测试***网络 1***的高端频率时，如 500kHz 和 1MHz 等频率点，其响应电压（即 U_2 值）很小，按表 1 参数表所示是小于 3mV，如果选用数字万用表的 ACV 测量范围很难满足，为了提高测量精度，采取放大输入电压（U 值），应测得放大同样倍数的输出电压（U_2 值）。其放大倍数如下：

- 200kHz 频率点放大二倍输入电压；
- 500kHz 频率点放大六倍输入电压；
- 1MHz 频率点放大十倍输入电压。

按表 3 频率特性参数和 450A ***网络 1***的转换阻抗（U_2/I）精度（± 5%）列出的测试校准表，见表 8。如果校准测试数据满足表 6 的限值范围，那么校准的

这个测试网络的转换阻抗（U_2/I）是符合要求的。

表 8 转换阻抗（U_2/I）特性校准测试数据表

频率 (Hz)	输入电压 U（mV）	输出电压 U_2（mV）		
		下限值（－ 5%）	标称值	上限值（＋ 5%）
20	1998	475	500	525
50	1990	474.05	499	523.95
60	1986	473.1	498	522.9
100	1961	470.25	495	519.75
200	1857	456	480	504
500	1433	384.75	405	425.25
1,000	973	269.8	284	298.2
2,000	661	154.76	162.9	171.05
5,000	512	64.89	68.3	71.72
10,000	485	32.68	34.4	36.12
20,000	479	16.35	17.21	18.07
50,000	477	6.55	6. 89	7.23
100,000	476	3.28	3. 45	3.62
200,000	952	3.27	3. 44	3.61
500,000	2856	3.92	4. 13	4.34
1000,000	4760	3.28	3. 45	3.62

注：1） U、U_2参量见测试网络图 1 标明。

2） 200kHz～1MHz 频率点放大输入电压。

7．2．2 校准测试*网络 2*

测试*网络 2* 的校准方法和选择的校准仪器与校准测试*网络 1* 一样，测试*网络 2* 的校准频率特性表见表 9。

表 9　测试*网络 2* 校准频率特性表

频率 (Hz)	输入电压 U（mV）	输出电压 U_1（mV）		
		下限值（－ 5%）	标称值	上限值（＋ 5%）
20	2000	1900	2000	2100
50	2000	1897	1997	2097
60	2000	1896	1996	2096
100	2000	1891	1991	2091

200	2000	1867	1965	2063
500	2000	1715	1805	1895
1,000	2000	1375	1447	1519
2,000	2000	881.6	928	974.4
5,000	2000	389.5	410	430.5
10,000	2000	197.6	208	218.4
20,000	2000	99.75	105	110.3
50,000	2000	39.9	42	44.1
100,000	2000	19.95	21	22.02
200,000	2000	10.45	11	11.55

注：1）U、U_1参量见图 1 中的测试***网络 2***标明。

2）20Hz～200kHz 频率范围。

7．2．3 校准测试*网络 3*

在图 1 中的测试***网络 3***是由一个电阻（R=1500Ω）和一个电容（C=0.15μF）并联组成，输入电压 U 和输出电压 U_1等同，其网络特性可以校验这个测试网络的阻抗特性，通过公式（1）计算得出表 10：

$$Z = 1/sgrt[(1/R)^2+(2\pi fC)^2]] \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (1)$$

注：1）Z 为阻抗模值；R＝1500Ω；C＝0.15μF；f 为频率值；

2）公式(1)根据李翰荪编写《电路分析基础(下册)》。

表 10　测试***网络 3***校准阻抗特性表

频率 (Hz)	阻抗 Z（Ω）		
	下限值（－ 5%）	标称值	上限值（＋ 5%）
20	1424	1499	1574
50	1421	1496	1571
60	1420	1495	1570
100	1411	1485	1559
200	1371	1443	1515
500	1164	1225	1286
1,000	823.2	866.5	909.8
2,000	475.4	500.4	525.4
5,000	199.7	210.2	220.7
10,000	100.6	105.9	111.2

20,000	50.4	53.0	55.7
50,000	20.1	21.2	22.3
100,000	10.1	10.6	11.1

根据测试***网络 3***的阻抗特性参数表 11 的要求，校准测试***网络 3***需要一台 LCR 测试仪，选择了表 11 的校准仪器。

表 11 校准仪器性能指标表

仪器名称	测试性能要求	建议校准使用的仪器
LCR 测量仪	● 测量模式：Z-θ； ● 频率范围：20Hz～100kHz； ● 输出电压：大于 $5V_{RMS}$。	美国安捷伦（Aglient） 4284A PRECISION LCR METER

在校准测试***网络 3***时，**450A 应断电关机**。校准测试的连接如图 19 所示：LCR 测试仪的测量端接到 450A 后面板的“测试***网络 3***”端口，LCR 测试仪的测量模式选：Z-θ，然后按表 10 的要求改变频率进行校准测试。

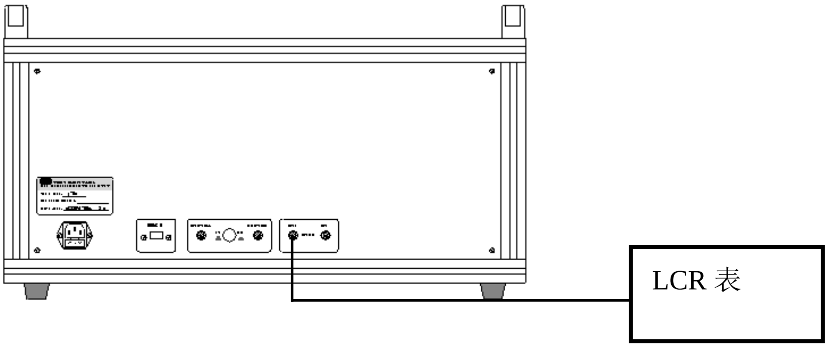


图 19 测试网络校准示意图

7．2．4 校准测试***网络 4***

在图 1 中的测试***网络 4***也是由一个电阻（R=500Ω）和一个电容（C=0.45μF）组成，因此按 7．2．3 章节校准测试***网络 3***方法进行校准，按图 19 将 LCR 表测量端接 450A 仪器后面板的***网络 4***校准端口。通过公式（1）计算出测试***网络 4***的测试网络的阻抗特性，见表 12

表 12 测试***网络 4***校准阻抗特性表

频率 (Hz)	阻抗 Z（Ω）		
	下限值（－ 5%）	标称值	上限值（＋ 5%）
20	474.8	499.8	524.8
50	473.9	498.8	523.7

60	473.3	498.2	523.1
100	470.3	495.1	519.9
200	457.0	481.1	505.2
500	388.0	408.4	428.8
1,000	274.4	288.8	303.2
2,000	158.5	166.8	175.1
5,000	66.6	70.1	73.6
10,000	33.5	35.3	37.1
20,000	16.8	17.7	18.6
50,000	6.72	7.07	7.42
100,000	3.36	3.54	3.72

7．2．5 校准测试*网络 5*

测试*网络 5* 的校准方法和选择的校准仪器与校准测试*网络 1* 一样，见 7．2．1 章节，测试*网络 5* 的校准频率特性表见表 13。

表 13　测试*网络 5* 校准频率特性表

频率 (Hz)	输入电压 U （mV）	输出电压 U_1（mV）		
		下限值（— 5%）	标称值	上限值（＋ 5%）
20	1998	475	500	525
50	1990	475	500	525
60	1986	475	500	525
100	1961	475	500	525
200	1857	475	500	525
500	1434	475	500	525
1,000	979	475	500	525
2,000	675	475	500	525
5,000	533	475	500	525
10,000	509	475	500	525
20,000	502	475	500	525
50,000	500	475	500	525
100,000	500	475	500	525
200,000	500	475	500	525
500,000	500	475	500	525

1000,000	500	475	500	525

注：1）U、U_1 参量见图 1 的测试网络 5 标明。

如图 1 中的测试网络的特性有超标，应调试测试网络电路上的元件。该仪器在出厂时已调试合格，切忌随意调动测试网络电路上的元件！

7.3 接触电流的电压（U1、U2）校准

校准测试的连接如图 20 所示：信号源输出端接 450A 前面板的“测试”端口；数字万用表接 450A 后面板的“网络输出”端口。

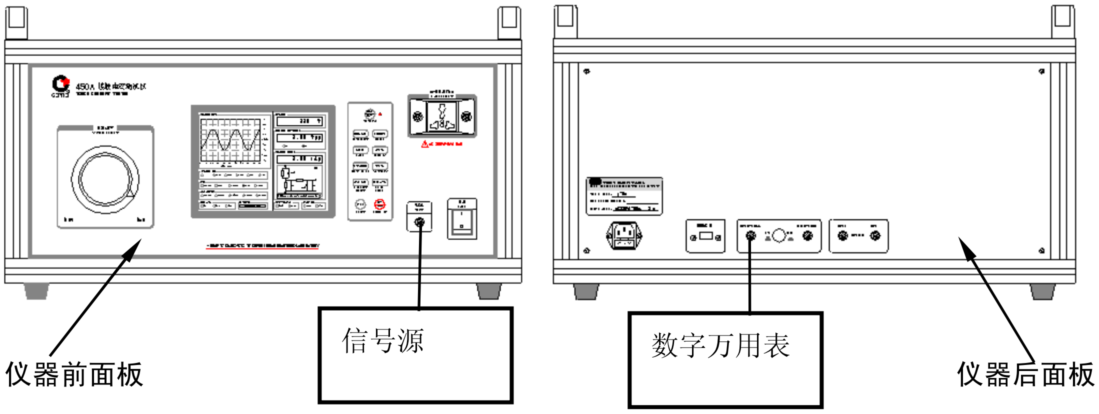


图 20 接触电流的电压（U1、U2）校准示意图

测量校准仪器可按测试*网络 1* 选择。5700A 型多功能校准装置设置：频率 50Hz，任意波形，变化输出电压幅度：0.25V_{P-P}～40V_{P-P}，采用 3458A 型数字万用表测量的电压值进行校准。

如果校准接触电流的电压（U1、U2）能满足指标要求（误差：± 5%±3 字），那测量接触电流（I_d）的精度也能满足指标要求，是因为接触电流（I_d）是采用表 1 的公式计算来。

7.4 供样电源电压校准（误差：± 3% ± 3 字）

校准测试的连接如图 21 所示：2000 型数字万用表接 450A 前面板的“供样电源输出插座”。

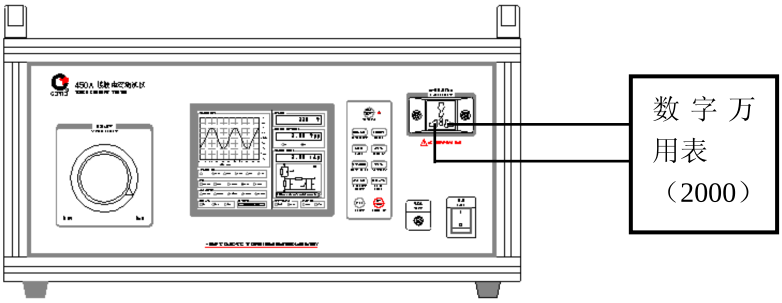


图 21 供样电源电压校准示意图